

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-079684

(43)Date of publication of application : 18.03.2003

(51)Int.Cl.

A61H 3/00  
G05D 17/02  
// B25J 5/00

(21)Application number : 2001-236336

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 03.08.2001

(72)Inventor : IKEUCHI YASUSHI  
KATO HISASHI

(30)Priority

Priority number : 2001200416  
2001 300815Priority date : 02.07.2001  
27.06.2001Priority country : JP  
US

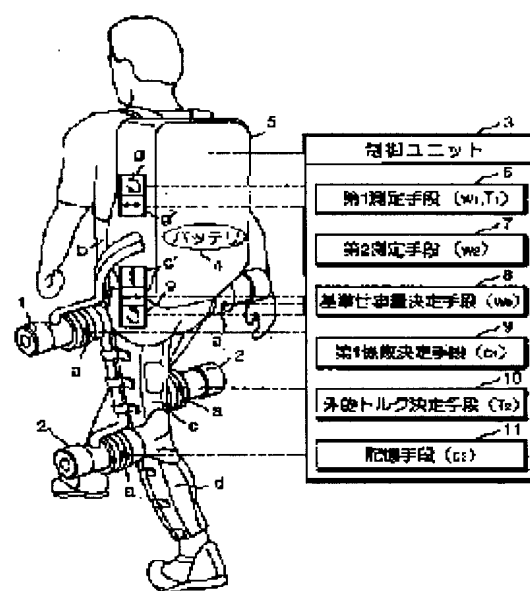
## (54) TORQUE IMPARTING SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a system capable of imparting the proper torque to various rotations including the bending of a knee joint accompanied by walking or the like corresponding to conditions through the construction of a system capable of properly assisting walking corresponding to various walking conditions.

SOLUTION: The torque imparting system is equipped with a first measuring means 6, a second measuring means 7, a reference work load determination means 8 and an external torque determination means 10. The first measuring means 6 measures the internal work load of a leg part around a joint and the second measuring means 7 measures the external work load around the joint applied to the leg part. The work load determination means 8 determines reference work load on the basis of the internal work load of the leg part measured by the first measuring means 6. The external torque determination means 10 determines the external torque applied to the leg part so as to reduce the deviation between the internal work load of the leg part measured by the first measuring means 6 and the reference work load determined by the reference work load determination means 8 on the basis of the external work load measured by the second measuring means 7.

FIG. 1



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2003-79684  
(P2003-79684A)

(43)公開日 平成15年3月18日(2003.3.18)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト*(参考)
A 6 1 H 3/00		A 6 1 H 3/00	B 3 C 0 0 7
G 0 5 D 17/02		G 0 5 D 17/02	
// B 2 5 J 5/00		B 2 5 J 5/00	F

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願2001-236336(P2001-236336)

(22)出願日 平成13年8月3日(2001.8.3)

(31)優先権主張番号 60/300815

(32)優先日 平成13年6月27日(2001.6.27)

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(31)優先権主張番号 特願2001-200416(P2001-200416)

(32)優先日 平成13年7月2日(2001.7.2)

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000005326  
本田技研工業株式会社  
東京都港区南青山二丁目1番1号

(72)発明者 池内 康  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会  
社本田技術研究所内

(72)発明者 加藤 久  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会  
社本田技術研究所内

(74)代理人 100077805  
弁理士 佐藤 辰彦 (外1名)  
Fターム(参考) 3C007 BS27 CS08 KS28 LU07 WA03  
WA13 WB08

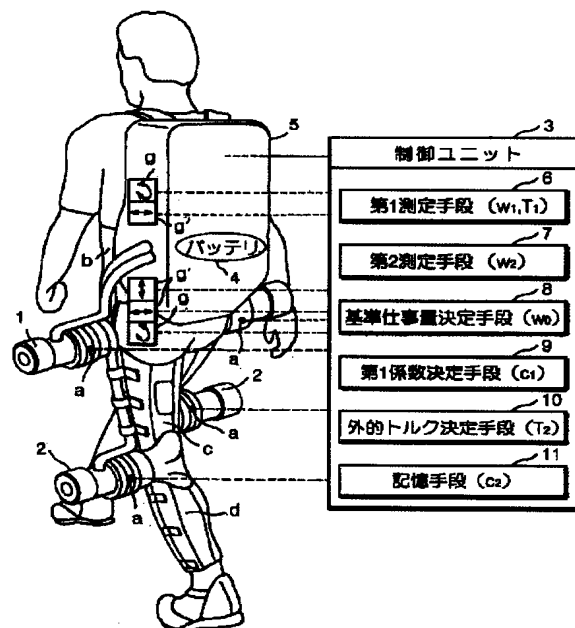
(54)【発明の名称】 トルク付与システム

(57)【要約】

【課題】多様な歩行条件に応じて適切に歩行を補助し得るシステムの構築を通じ、歩行に伴う膝関節の折り曲げ等を含む種々の回動に状況に応じた適切なトルクを付与し得るシステムを提供する。

【解決手段】本発明のトルク付与システムは、第1測定手段6と、第2測定手段7と、基準仕事量決定手段8と、外的トルク決定手段10とを備えている。第1測定手段6は関節回りの脚部の内的仕事量を測定する。第2測定手段7は脚部に付与される関節回りの外的仕事量を測定する。基準仕事量決定手段8は第1測定手段6により測定される脚部の内的仕事量に基づいて基準仕事量を決定する。外的トルク決定手段10は第2測定手段7により測定される外的仕事量に基づき、第1測定手段6により測定される脚部の内的仕事量と、基準仕事量決定手段8により決定される基準仕事量との偏差を減少するように脚部へ付与される外的トルクを決定する。

FIG. 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】歩行者の脚部に対して足関節、膝関節又は股関節回りの外的トルクを付与するシステムであって、脚部から生じる関節回りの内的仕事量を測定する第 1 測定手段と、

脚部に付与される関節回りの外的仕事量を測定する第 2 測定手段と、

第 1 測定手段により測定される脚部の内的仕事量に基づいて基準仕事量を決定する基準仕事量決定手段と、

第 2 測定手段により測定される外的仕事量に基づき、第 1 測定手段により測定される脚部の内的仕事量と、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差を減少するように脚部へ付与される外的トルクを決定する外的トルク決定手段と、

外的トルク決定手段により決定された外的トルクを脚部に付与する外的トルク付与手段とを備えていることを特徴とするトルク付与システム。

【請求項 2】基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差が 0 となる場合の脚部の内的仕事量に対する脚部に付与される外的仕事量の比を目標値とし、時間を追って該目標値に収束するよう第 1 係数を逐次決定する第 1 係数決定手段を備え、第 1 測定手段は脚部の関節回りの内的トルクを測定し、

外的トルク決定手段は、第 1 測定手段により測定される脚部の内的トルクと、第 1 係数決定手段により決定される第 1 係数との積を演算し、該演算結果を脚部に付与される外的トルクとして決定することを特徴とする請求項 1 記載のトルク付与システム。

【請求項 3】第 1 係数決定手段は、第 1 測定手段により測定される内的仕事量、又は第 2 測定手段により測定される外的仕事量に基づいて第 1 係数の上限又は下限を決定することを特徴とする請求項 2 記載のトルク付与システム。

【請求項 4】第 1 係数決定手段は、第 1 測定手段により測定される内的仕事量と、第 2 測定手段により測定される外的仕事量との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量以下のとき、第 1 係数の下限を 0 と決定することを特徴とする請求項 2 記載のトルク付与システム。

【請求項 5】第 1 係数決定手段は、第 1 測定手段により測定される内的仕事量と、第 2 測定手段により測定される外的仕事量との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量以上の所定量以上のとき、第 1 係数の上限を決定することを特徴とする請求項 2 記載のトルク付与システム。

【請求項 6】第 1 測定手段は脚部の関節回りの内的トルク及び角速度の積を測定し、

第 1 係数決定手段は第 1 測定手段により測定された積の区分に応じて第 1 係数を区分して決定し、

外的トルク決定手段は、第 1 測定手段により測定された

積の区分が先に第 1 測定手段により測定された過去の積の区分に一致するとき、第 1 係数決定手段によって該過去の積の区分に応じた内的仕事量に基づいて先に決定された第 1 係数を用いて外的トルクを決定することの特徴とする請求項 2 記載のトルク付与システム。

【請求項 7】第 1 係数決定手段は第 1 測定手段により測定された脚部の関節回りの内的トルク及び角速度の積の正負に応じて第 1 係数を区分して決定することを特徴とする請求項 6 記載のトルク付与システム。

【請求項 8】基準仕事量決定手段は、第 1 測定手段により測定される内的仕事量と、第 2 測定手段により測定される外的仕事量の和である合計仕事量を演算し、合計仕事量と第 1 測定手段により測定される歩行者の無負荷状態における平地歩行時の脚部の内的仕事量との差と、脚部の内的仕事量と基準仕事量との偏差を 0 とする外的トルクに関する第 2 係数との積を演算し、合計仕事量と、該積との差を演算し、該演算結果を基準仕事量として決定することを特徴とする請求項 1、2、3、4、5、6 又は 7 記載のトルク付与システム。

【請求項 9】第 1 及び第 2 測定手段は、歩行者の歩行周期を積分時間とすることでそれぞれ内的及び外的仕事量を測定することを特徴とする請求項 1、2、3、4、5、6、7 又は 8 記載のトルク付与システム。

【請求項 10】第 1 測定手段は、脚部の足平への床反力を測定し、測定した床反力に基づき逆動力モデルに従って脚部の足関節、膝関節又は股関節回りの内的トルクと外的トルクとの合計トルクを測定し、測定した合計トルクから第 2 測定手段により測定される外的トルクとの差を演算することで脚部の足関節、膝関節又は股関節回りの内的トルクを測定することを特徴とする請求項 1、2、3、4、5、6、7、8 又は 9 記載のトルク付与システム。

【請求項 11】関節を介して相対的に回動可能に連結された連結体に対して関節回りの外的トルクを付与するシステムであって、連結体から生じる関節回りの内的仕事量を測定する第 1 測定手段と、連結体に付与される関節回りの外的仕事量を測定する第 2 測定手段と、

第 1 測定手段により測定される連結体の内的仕事量に基づいて基準仕事量を決定する基準仕事量決定手段と、

第 2 測定手段により測定される外的仕事量に基づき、第 1 測定手段により測定される連結体の内的仕事量と、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差を減少するように連結体へ付与される外的トルクを決定する外的トルク決定手段と、

外的トルク決定手段により決定された外的トルクを連結体に付与する外的トルク付与手段とを備えていることを特徴とするトルク付与システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、関節を介して相対的に回動可能に連結された連結体に対して関節回りの外的トルクを付与するシステム、より具体的には歩行者の脚部に対して足関節、膝関節又は股関節回りの外的トルクを付与するシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】脚力の低下のため自力での歩行が困難となった者の歩行を補助するシステムが特開平7-163607号公報や特開2000-166997号公報等において提案されている。かかるシステムによれば、患者の膝関節部分等にトルク付与装置が取り付けられ、当該装置によって膝等にトルクが付与されることで、歩行者の歩行が補助される。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来のシステムによれば、階段、平地等の歩行条件は大まかに識別されていたに過ぎず、段差が不規則な階段や傾斜の相違する坂道等、多様な歩行条件が識別された上でトルクが付与されていなかった。このため、付与されるトルクが過剰になってしまうおそれがある。

【0004】そこで、本発明は、多様な歩行条件に応じて適切に歩行を補助し得るシステムの構築を通じ、歩行に伴う膝関節の折り曲げ等を含む種々の回動に状況に応じた適切なトルクを付与し得るシステムを提供することを解決課題とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための本発明の第1態様のトルク付与システムは、脚部から生じる関節回りの内的仕事量を測定する第1測定手段と、脚部に付与される関節回りの外的仕事量を測定する第2測定手段と、第1測定手段により測定される脚部の内的仕事量に基づいて基準仕事量を決定する基準仕事量決定手段と、第2測定手段により測定される外的仕事量に基づき、第1測定手段により測定される脚部の内的仕事量と、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差を減少するように脚部へ付与される外的トルクを決定する外的トルク決定手段と、外的トルク決定手段により決定された外的トルクを脚部に付与する外的トルク付与手段とを備えていることを特徴とする。

【0006】前記課題を解決するための本発明の第2態様のトルク付与システムは、連結体から生じる関節回りの内的仕事量を測定する第1測定手段と、連結体に付与される関節回りの外的仕事量を測定する第2測定手段と、第1測定手段により測定される連結体の内的仕事量に基づいて基準仕事量を決定する基準仕事量決定手段と、第2測定手段により測定される外的仕事量に基づき、第1測定手段により測定される連結体の内的仕事量と、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差を減少するように連結体へ付与される外的トルク

を決定する外的トルク決定手段と、外的トルク決定手段により決定された外的トルクを連結体に付与する外的トルク付与手段とを備えていることを特徴とする。

【0007】本発明によれば、歩行者の脚部又は連結体（以下「脚部等」という。）の関節回りの内的仕事量が基準仕事量に一致するように、脚部等に対して関節回りの外的トルクが付与される。従って、歩行者が平地歩行から階段歩行へ移行する等、脚部等の歩行又は動作（以下「歩行等」という。）の条件が変動し、歩行等に要する脚部等の仕事量が基準仕事量を超過した場合、当該超過分が補助される形で脚部等に外的トルクが付与される。そして、歩行等の条件変動に関わらず、脚部等における基準仕事量に対応する内的トルクの発揮によって歩行等を可能とすることができる。

【0008】また、脚部等に付与される外的トルクは、脚部等に付与される外的仕事量に基づいて決定され、当該決定の基準となる基準仕事量は脚部等の内的仕事量に基づいて決定される。従って、脚部等の内的仕事量と外的仕事量とのバランスに応じた適切な外的トルクを脚部等に付与することができる。なお、本システムにより付与される外的トルクには、歩行等の方向をx軸、鉛直方向をz軸として、xy平面、yz平面、zx平面の全ての平面内の外的トルク、即ち、3次元空間内のあらゆる方向への外的トルクが包含されている。

【0009】上記システムにおいて、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差が0となる場合の脚部の内的仕事量に対する脚部に付与される外的仕事量の比を目標値とし、時間を追って該目標値に収束するように第1係数を逐次決定する第1係数決定手段を備え、第1測定手段は脚部の関節回りの内的トルクを測定し、外的トルク決定手段は第1測定手段により測定される脚部の内的トルクと、第1係数決定手段により決定される第1係数との積を演算し、該演算結果を脚部に付与される外的トルクとして決定することが好ましい。

【0010】本発明によれば、歩行者の歩行条件の変動により脚部の内的仕事量が基準仕事量を超過した場合、この超過分を解消すべく、第1係数、ひいては脚部に付与される外的トルクが逐次決定される。また、第1係数がその目標値に収束したとき、第1係数に基づき決定される外的トルクが脚部に付与されることで、脚部の基準仕事量に対応する内的トルクの発揮による歩行を可能とすることができる。

【0011】さらに、第1係数のその目標値への収束速度を大きくすることで、歩行条件の変動により歩行に要する仕事量が基準仕事量を超過した場合、当該超過分を迅速に解消するように外的トルクを脚部に付与することができる。一方、第1係数のその目標値への収束速度を小さくすることで、歩行条件の変動により歩行に要する仕事量が基準仕事量を超過した場合、当該超過分を時間的にゆるやかに解消するように外的トルクを脚部に付与

することができる。

【0012】上記システムにおいて、第1係数決定手段は、第1測定手段により測定される内的仕事量、又は第2測定手段により測定される外的仕事量に基づいて第1係数の上限又は下限を決定することが好ましい。

【0013】本発明によれば、第1係数に上限又は下限が設定され、これにより脚部に付与される外的トルクが過大又は過少となり、歩行者が肉体的苦痛を覚えたり、歩行者の心理に悪影響が及ぶおそれを解消することができる。また、第1係数の上限又は下限は、歩行者の歩行状況に応じて変動する内的仕事量又は外的仕事量に基づいて決定されるので、当該歩行状況に応じて適切に外的トルクを制限することができる。

【0014】上記システムにおいて、第1係数決定手段は、第1測定手段により測定される内的仕事量と、第2測定手段により測定される外的仕事量との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量以下のとき、第1係数の下限を0と決定することが好ましい。

【0015】上述のように脚部の内的仕事量と基準仕事量とが一致するように第1係数の目標値が決定される。従って、脚部の合計仕事量が減少して基準仕事量を下回った場合、脚部の内的トルクひいては内的仕事量を増大させて基準トルクに一致させるべく、第1係数が負に決定され、脚部には歩行の抵抗となる負の外的トルクが付与される。

【0016】本発明によれば、このような場合、第1係数の下限が0と決定されるので、第1係数と内的トルクとの積として決定される外的トルクが0となるので、脚部に負の外的トルクが付与される事態を防止することができる。

【0017】上記システムにおいて、第1係数決定手段は、第1測定手段により測定される内的仕事量と、第2測定手段により測定される外的仕事量との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量以上の所定量以上のとき、第1係数の上限を決定することが好ましい。

【0018】脚部の合計仕事量が増大して基準仕事量を大きく上回った場合、脚部の内的トルクひいては内的仕事量を減少させて基準仕事量に一致させるべく、第1係数が過大に決定され、脚部に過大な外的トルクが付与される。

【0019】本発明によれば、このような場合、第1係数の上限が決定されるので、第1係数と内的トルクとの積として決定される外的トルクに上限が設けられ、脚部に過大な外的トルクが付与される事態を防止することができる。

【0020】上記システムにおいて、第1測定手段は脚部の関節回りの内的トルク及び角速度の積を測定し、第1係数決定手段は第1測定手段により測定された積の区

分に応じて第1係数を区分して決定し、外的トルク決定手段は第1測定手段により測定された積の区分が先に第1測定手段により測定された過去の積の区分に一致するとき、第1係数決定手段によって該過去の積の区分に応じた内的仕事量に基づいて先に決定された第1係数を用いて外的トルクを決定することが好ましい。

【0021】さらに、第1係数決定手段は第1測定手段により測定された脚部の関節回りの内的トルク及び角速度の積の正負に応じて第1係数を区分して決定することが好ましい。

【0022】上記システムにおいて、基準仕事量決定手段は第1測定手段により測定される内的仕事量と、第2測定手段により測定される外的仕事量の和である合計仕事量を演算し、合計仕事量と第1測定手段により測定される歩行者の無負荷状態における平地歩行時の脚部の内的仕事量との差と、脚部の内的仕事量と基準仕事量との偏差を0とする外的トルクに関する第2係数との積を演算し、合計仕事量と該積との差を演算し、該演算結果を基準仕事量として決定することが好ましい。

【0023】本発明によれば、歩行に際して必要な合計仕事量の基準仕事量に対する変動分のうち、どれだけを外的トルクにより補償するかが第2係数の大小によって決定される。即ち、第2係数が大きく設定されることで、当該変動分のうち外的トルクにより補償される分の割合を大きくすることができる。一方、第2係数が小さく設定されることで、当該変動分のうち外的トルクにより補償される分の割合を小さくすることができる。なお「歩行者の無負荷状態における平地歩行時の内的仕事量」には、外部から負荷が加わっていない状態で歩行者が平地を歩行する際の内的仕事量のほか、外部から負荷が加わっている状態で歩行者が平地を歩行する際の内的仕事量であって、当該負荷が加わっていない状態での内的仕事量と擬制され得るように当該負荷を考慮に入れて補正される内的仕事量も含まれる。

【0024】上記システムにおいて、第1及び第2測定手段は、歩行者の歩行周期を積分時間とすることでそれぞれ内的及び外的仕事量を測定することが好ましい。

【0025】本発明によれば、右又は左の足平が離床してから接地し、且つ、左又は右の足平が離床してから接地するまでの内的仕事量、外的仕事量に基づいて次の左右の脚部に付与される外的トルクを決定することができる。

【0026】上記システムにおいて、第1測定手段は、脚部の足平への床反力を測定し、測定した床反力に基づき逆動力モデルに従って脚部の足関節、膝関節又は股関節回りの内的トルクと外的トルクとの合計トルクを測定し、測定した合計トルクから第2測定手段により測定される外的トルクとの差を演算することで脚部の足関節、膝関節又は股関節回りの内的トルクを測定することが好ましい。

【0027】詳細は後述するが逆動力モデルによれば、脚部が関節を介して回動可能に順次連結された複数の剛体棒と仮定され、一の剛体棒の一の関節回りのトルク及び関節の反力に基づいて当該一の剛体の他の関節回りのトルク及び関節の反力が決定される。従って、本発明によれば、床反力に基づき足関節回りのトルク及び関節の反力が測定されることで、膝関節、股関節のトルクを順次測定することができる。また、逆動力モデルに従って測定されたトルクは内的トルク及び外的トルクの和なので、これから外的トルクを差し引くことで内的トルクを測定することができる。

【0028】

【発明の実施の形態】本発明のトルク付与システムの実施形態について図面を用いて説明する。図1は本実施形態のトルク付与システムとしての歩行補助装置の構成説明図であり、図2は歩行補助装置による歩行補助の概要説明図であり、図3は歩行補助装置の機能を説明するフローチャートであり、図4は歩行者の足平の床反力測定の概念説明図であり、図5は歩行者の関節周りのトルク測定の概念説明図であり、図6は歩行補助装置による歩行補助の実験結果の説明図であり、図7及び図8は歩行補助装置による歩行補助のシミュレーション結果の説明図である。

【0029】図1に示すトルク付与システムは、歩行者の腰部に取り付けられて股関節回りの外的トルクを付与する第1アクチュエータ（外的トルク付与手段）1と、歩行者の膝部に取り付けられて膝関節回りの外的トルクを付与する第2アクチュエータ2（同）と、各アクチュエータ1、2の作動等を制御する制御ユニット3と、各アクチュエータ1、2に電力を供給するNi-Znバッテリー等のバッテリー4とを備えている。制御ユニット3及びバッテリー4は歩行者の背中に担がれるバックパック5の中に格納されている。第1アクチュエータ1は歩行者に取り付けられた腹帯bと、大腿部当てcとを介して股関節回りの外的トルクを付与する。第2アクチュエータ2は歩行者に取り付けられた大腿部当てcと脛部当てdとを介して膝関節回りの外的トルクを付与する。なお、歩行者の腰部、大腿部、脛部は本発明の「連結体」に相当する。

【0030】また、本歩行補助装置は、歩行者の背後に取り付けられ、上半身の鉛直方向に対する角速度を測定するジャイロセンサgと、水平方向の加速度を測定するGセンサg'とを備えている。さらに、歩行者の腰部に取り付けられ、腰部の鉛直方向に対する角速度を測定するジャイロセンサgと、水平方向、鉛直方向の加速度を測定するGセンサg'とを備えている。また、歩行者の腰部に取り付けられて腰部に対する左右の大腿部の股関節回りの回転角を測定し、膝部に取り付けられて大腿部に対する脛部の回転角を測定する角度センサaを備えている。

【0031】制御ユニット3は、第1測定手段6と、第2測定手段7と、基準仕事量決定手段8と、第1係数決定手段9と、外的トルク決定手段10と、記憶手段11とを備えている。制御ユニット3は、後述の諸機能を発揮可能となりようにCPU、信号入出力回路、メモリ等が組み合わせられることで構成されている。

【0032】第1測定手段6は各センサg、g'、aの測定値に基づいて膝関節、股関節回りの脚部の内的トルク $T_1$ と、内的トルク $T_1$ と内的角速度 $\omega_1$ との積の絶対値の時間積分である内的仕事量 $w_1$ とを測定する。第2測定手段7は各アクチュエータ1、2の電流値や角度センサaの測定値に基づいて膝関節、股関節回りの外的トルク $T_2$ と外的角速度 $\omega_2$ との積の絶対値の時間積分である外的仕事量 $w_2$ を測定する。基準仕事量決定手段8は第1測定手段6により測定される脚部の内的仕事量 $w_1$ に基づいて基準仕事量 $w$ を決定する。第1係数決定手段9は基準仕事量決定手段8により決定される基準仕事量 $w$ との偏差が0となる場合の内的仕事量 $w_1$ に対する外的仕事量 $w_2$ の比を目標値 $c_{r0}$ とし、内的仕事量 $w_1$ に対する外的仕事量 $w_2$ の比を第1係数 $c_1$ とし、時間を追ってこの目標値に収束するよう第1係数 $c_1$ を逐次決定する。外的トルク決定手段10は第1測定手段6により測定される内的トルク $T_1$ と、第1係数決定手段9により決定される第1係数 $c_1$ との積を演算し、アクチュエータ1、2を通じて股関節、膝関節回りに付与される外的トルク $T_2$ を決定する。記憶手段11はROM等の不揮発性メモリや、RAM等の揮発性メモリ等により構成され、後述のように基準仕事量 $w$ の決定に用いられる第2係数 $c_2$ や、歩行者の左右の足平への床反力等の測定に用いられるデータテーブル等を記憶する。

【0033】上記構成の歩行補助装置の機能について図2～図8を用いて説明する。

【0034】まず、第2アクチュエータ2から歩行者の脚部に対して付与される膝関節回りの外的トルクの概要について図2を用いて説明する。歩行者が無負荷状態で平地を歩行するときの膝関節回りの内的仕事量 $w_1$ が黒塗部分で表されている。なお「無負荷状態での内的仕事量 $w_1$ 」には、歩行者が歩行補助装置を装着していない状態で三次元動作解析装置等により測定される内的仕事量のほか、歩行者が歩行補助装置を装着した状態で上記角度センサa等により測定される内的仕事量が、当該装置の重量やフリクションを考慮して減少補正されることで決定される内的仕事量も含まれる。

【0035】歩行者が階段を上り始めたとき、膝関節回りの内的仕事量 $w_1$ が、平地歩行時よりも $\Delta w$ （④の斜線部分）だけ超過したとする。この超過は歩行者が階段を上るとき、平地歩行時よりも脚部を大きく動かす必要があることに起因している。従って、筋力低下等のために平地歩行はできても階段歩行がままならない歩行者は

階段を上ることが困難となる。

【0036】そこで、歩行者の階段歩行を補助すべく脚部に外的トルク $T_e$ が付与される。外的トルク $T_e$ は、後述のように基準仕事量 $w$ が決定された上で、内的仕事量 $w_i$ がこの基準仕事量 $w$ に収束するように内的トルク $T_i$ に基づいて逐次決定される。これにより歩行者が階段を上るにつれ、①から②、②から③、③から④に移行することにより外的仕事量 $w_e$ （②～④の白塗部分）が徐々に増大し、その分だけ内的仕事量 $w_i$ が徐々に減少して基準仕事量 $w$ に収束する。このため、膝関節回りに内的トルクを生じるために必要な歩行者の筋力負担が、階段を上るにつれて軽減されていく。これ以後、歩行者は基準仕事量 $w$ に対応する内的トルク $T_i$ の発揮により登り階段歩行を継続することができる。

【0037】次に、第1、第2アクチュエータ1、2から脚部に対して付与される股関節、膝関節回りの外的トルク $T_e$ を決定する手順の詳細について図3～図6を用\*

$$F_{ax} + F_{lx} = m(g + y_g'') \quad (g: \text{重力加速度}) \cdots (1a)$$

$$F_{ax} + F_{lx} = m x_g'' \cdots (1b)$$

$$(y_g' - y_r) / (x_g - x_r) = F_{rx} / F_{ax} \cdots (1c)$$

$$(y_g' - y_l) / (x_g - x_l) = F_{lx} / F_{ax} \cdots (1d)$$

【0041】歩行者の質量 $m$ は事前に測定され、また、身体重心座標 $(x_g, y_g)$ 、左右の足関節座標 $(x_l, y_l)$ 、 $(x_r, y_r)$ 、身体重心座標の加速度 $(x_g'', y_g'')$ は歩行者の事前の身体測定、及び歩行者の腰部等に取り付けられたジャイロセンサ $g$ や $G$ センサ $g'$ 、股関節及び膝関節に取り付けられた角度センサ $a$ の測定値に基づいて測定される。詳細には、左右の足関節座標 $(x_l, y_l)$ 、 $(x_r, y_r)$ 等は、記憶手段11に記憶されている股関節や膝関節の角度、大腿部や脛部の長さ等との対応関係を特定するデータテーブルに基づいて測定される。そして、これらの測定値が上の関係式に代入されることで第1測定手段6により床反力 $(F_{lx}, F_{lv})$ 、 $(F_{rx}, F_{rv})$ が測定される。 ※

$$F_{ax} - F_{bx} - m x'' = 0 \cdots (2a)$$

$$F_{av} - F_{bv} - m y'' - m g = 0 \cdots (2b)$$

$$I \theta'' = T_a - T_b + F_{ax} a \sin \theta - F_{av} a \cos \theta + F_{bx} b \sin \theta - F_{bv} b \cos \theta \cdots (2c)$$

【0044】床反力 $(F_{ax}, F_{av})$ は上述の方法により測定される。また、脛部の重心位置の加速度 $(x'', y'')$ 、脛部の床に対する角度 $\theta$ 、及び角加速度 $\theta''$ は歩行者の事前の身体測定や歩行者に取り付けられたジャイロセンサ $g$ 、 $G$ センサ $g'$ 、角度センサ $a$ の測定値に基づいて測定される。さらに、脛部の慣性モーメント $I$ 、足関節、膝関節から脛部の重心までの距離 $a$ 、 $b$ は歩行者の事前の身体測定に基づいて測定される。また、足関節回りのトルク $T_a$ は、床反力 $(F_{ax}, F_{av})$ に基づき記憶手段11に記憶されているデータテーブルに従って第1測定手段6により測定される。そして、これらの測定値を上の関係式 $(2a) \sim (2c)$ に代入すること

※いて説明する。なお、歩行者の $i$ 番目 $(i = 1, 2, \dots)$ の歩行周期（以下「第 $i$ 周期」という。）における物理量に適宜添字 $i$ を付する。

【0038】まず、膝関節及び股関節回りの内的トルク $T_{i(i)}$ 及び角速度 $\omega_{i(i)}$ が測定される（図3s1）。内的トルク $T_{i(i)}$ の測定方法について図4及び図5を用いて説明する。

【0039】歩行者の左右の脚部への床反力が図4に示すモデルを用いて測定される。図4に示す質量 $m$ の歩行者の左右の脚部にはそれぞれ床反力 $(F_{lx}, F_{lv})$ 、 $(F_{rx}, F_{rv})$ が作用している。また、歩行者の身体重心座標、左足関節座標及び右足関節座標はそれぞれ $(x_g, y_g)$ 、 $(x_l, y_l)$ 、 $(x_r, y_r)$ である。このモデルにおける力のバランスや方向を考慮すると次の関係式 $(1a) \sim (1d)$ が得られる。

【0040】

※【0042】次に、測定された床反力に基づき、図5に示すモデルを用い、逆動力学モデルに従って膝関節、股関節回りの合計トルクが測定される。図5に示すように足関節に床反力 $(F_{ax}, F_{av})$ が作用し、膝関節に反力 $(F_{bx}, F_{bv})$ が作用し、質量 $m$ の脛部の重心には加速度に伴う力 $(m x'', m(y'' + g))$ が作用しているとする。また、足関節、膝関節回りのトルクがそれぞれ $T_a$ 、 $T_b$ であり、脛部と床とのなす角を $\theta$ 、脛部の慣性モーメントを $I$ 、足関節、膝関節から脛部の重心までの距離がそれぞれ $a$ 、 $b$ とする。このモデルにおいて力やトルクのバランスを考慮すると、次の関係式 $(2a) \sim (2c)$ が得られる。

【0043】

で膝関節回りのトルク $T_b$ が測定される。同様に、上の関係式 $(2a) \sim (2c)$ を用いることで股関節回りのトルクも測定される。

【0045】以上のように測定された膝関節、股関節回りのトルクから、第1、第2アクチュエータ1、2により付与されている外的トルク $T_{e(i)}$ が差し引かれることで膝関節、股関節回りの内的トルク $T_{i(i)}$ が測定される（図3s1）。また、内的角速度 $\omega_{i(i)}$ 及び外的角速度 $\omega_{e(i)}$ （両者は略一致すると考えられるので角速度 $\omega_{i(i)}$ と共通して表す）も角度センサ $a$ により測定される（図3s1）。なお、各関節回りの外的トルク $T_{e(i)}$ は第1、第2アクチュエータ1、2の電流値に基づいて第

2測定手段により測定される。

【0046】次に、外的トルク $T_{2(i)}$ が外的トルク付与手段10により決定され、第1、第2アクチュエータ1、2を通じて歩行者の脚部に付与される(図3s2)。外的トルク $T_{2(i)}$ は第1測定手段6により逐次測定される内的トルク $T_{1(i)}$ と、第1係数決定手段9により歩行周期ごとに決定される第1係数 $c_{1(i)}$ との積をもって決定される。即ち、第1係数 $c_{1(i)}$ は外的トルク $T_{2(i)}$ を内的トルク $T_{1(i)}$ の何%にするかを決定するものである。第1係数 $c_{1(i)}$ の決定方法については後述する。

【0047】続いて、制御ユニット3によって第*i*周期が経過したか否かが判断される(図3s3)。具体的には、第1制御手段6により測定される右足平の床反力が有限値から0になり、再び有限値になった後で0になったことが測定される周期が歩行周期の経過と判断される。

【0048】第*i*周期経過前(図3s3でNO)、歩行補助装置の作動が終了されない限り(図3s10でNO)、上記s1～s3の処理が繰り返される。

【0049】第*i*周期が経過したと判断されたとき(図3s3でYES)、第1測定手段6により、各関節回りの内的仕事量 $w_{1(i)}$ が次式(3)に従って測定される(図3s4)。即ち、内的仕事量 $w_{1(i)}$ が、各関節回りの内的トルク $T_{1(i)}$ と、角速度 $\omega_{(i)}$ との積の絶対値が第*i*周期にわたり積分されることで測定される。

【0050】

$$w_{1(i)} = \int dt \cdot |T_{1(i)} \times \omega_{(i)}| \cdots (3)$$

【0051】また、第2測定手段7により、各関節回りの外的仕事量 $w_{2(i)}$ が次式(4)に従って測定される(図3s5)。即ち、外的仕事量 $w_{2(i)}$ が、各関節回りの外的トルク $T_{2(i)}$ と角速度 $\omega_{(i)}$ との積の絶対値が第\*

$$c_{T6(i+1)} = c_2 \Delta w_1 / \{w_{1(i)} + (1 - c_2) \Delta w_1\} \cdots (6)$$

【0058】また、第1係数決定手段によって第1係数 $c_{1(i+1)}$ が記憶手段11に記憶されているゲイン係数 $G$ ( $0 < G \leq 1$ )を用いて次式(7)に従って決定される。ゲイン係数 $G$ はその大小により内的仕事量 $w_{1(i+1)}$ が基準仕事量 $w_{0(i+1)}$ に収束する速度を決定するものである。即ち、ゲイン係数 $G$ を大きくするほど内的仕事量\*

$$c_{1(i+1)} = w_{2(i)} / w_{1(i)} + G (c_{T6(i+1)} - w_{2(i)} / w_{1(i)}) \cdots (7)$$

【0060】歩行補助装置の作動が終了されなければ(図3s9でNO)、第*i*周期の第1係数 $c_{1(i)}$ が $c_{1(i+1)}$ に更新される(図3s11)。この上で、第*i*+1周期について、第1測定手段6により内的トルク $T_{1(i+1)}$ が測定される(図3s1)。また、外的トルク決定手段10により上述のように外的トルク $T_{2(i+1)}$ が上述のように第1係数 $c_{1(i+1)}$ と、内的トルク $T_{1(i+1)}$ との積として次式(8)のように決定される(図3s2)。

$$T_{2(i+1)} = c_{1(i+1)} T_{1(i+1)} \cdots (8)$$

\* *i*周期にわたり積分されることで測定される。

【0052】

$$w_{2(i)} = \int dt \cdot |T_{2(i)} \times \omega_{(i)}| \cdots (4)$$

【0053】なお、各関節回りの内的トルク $T_{1(i)}$ 、外的トルク $T_{2(i)}$ 及び角速度 $\omega_{(i)}$ は第*i*周期内においても時々刻々変動する時間関数としての物理量である。

【0054】さらに、基準仕事量決定手段8により第*i*+1周期の基準仕事量 $w_{0(i+1)}$ が次式(5)に従って決定される(図3s6)。詳細にはまず、内的仕事量 $w_{1(i)}$ と外的仕事量 $w_{2(i)}$ との和である合計仕事量 $w_{1(i)} + w_{2(i)}$ が、予め測定された平地歩行時の内的仕事量 $w_{1(0)}$ に対してどれだけ変動したかが測定される。即ち、基準仕事量 $w_{0(i+1)}$ は、合計仕事量 $w_{1(i)} + w_{2(i)}$ から記憶手段11に記憶されている第2係数 $c_2$ ( $0 \leq c_2 \leq 1$ )と当該変動量 $\Delta w_1$ との積を差し引くことで決定される。第2係数 $c_2$ は、この変動量 $\Delta w_1$ のうち外的トルク $T_{2(i+1)}$ の付与により補償される割合を決定するものである。例えば、第2係数 $c_2$ が1.0に設定されていれば、変動量 $\Delta w_1$ の全てを補償するように、即ち、歩行状態の変動に関わらず平地歩行状態における内的仕事量 $w_{1(0)}$ によって歩行継続が可能となるように外的トルク $T_{2(i+1)}$ が決定される。また、第2係数 $c_2$ が0.5に設定されていれば、変動量 $\Delta w_1$ の半分を補償するように外的トルク $T_{2(i+1)}$ が決定される。なお、第2係数 $c_2$ は、操作パネル(図示略)等において設定・更新可能とされていてもよい。

【0055】

$$w_{0(i+1)} = w_{1(i)} + w_{2(i)} - c_2 \Delta w_1 \cdots (5)$$

【0056】また、第1係数決定手段9により第1係数の目標値 $c_{T6(i+1)}$ が次式(6)に従って決定される(図3s7)。

【0057】

\*  $w_{1(i)}$ が迅速に基準仕事量 $w_{0(i)}$ に収束するように外的トルク $T_{2(i)}$ が大きく決定される。なお、ゲイン係数 $G$ は、操作パネル(図示略)において設定・更新可能とされてもよい。

【0059】

【0062】そして、外的トルク決定手段10により決定された外的トルク $T_{2(i+1)}$ が第1、第2アクチュエータを通じて歩行者の脚部に付与される(図3s2)。

【0063】次に、歩行者の膝関節に付与される外的トルク $T_2$ が歩行条件の変動に伴いどのように変動するかについて実験した結果を、図6を用いて説明する。図6には歩行者が平地で歩行を開始し、階段を上り、そして階段を下りた場合に第1係数 $c_1$ がどのように変動するかが示されている。上述のように第1係数 $c_1$ は内的トルク $T_1$ のうち何%を外的トルク $T_2$ として決定・付与



するかを左右するので、その変動を通じて間接的に外的トルク $T_2$ の変動を把握することができる。なお、実験に際して第1係数 $c_1$ の上限が0.25に設定され、第2係数 $c_2$ が0.25に設定されている。

【0064】平地での歩行時、第1係数 $c_1$ は0からその上限0.25に達した後、徐々に減少して0に至っている(図中下向き矢印参照)。これは、平地での歩行開始直後は膝関節に大きな外的トルクが付与されて歩行者の歩行が補助され、その後、徐々に外的トルクが減少して歩行者が自力で歩行していることを示している。

【0065】また、階段を上るとき、第1係数 $c_1$ は0からその上限0.25に達した後、以後もほぼ全時間にわたってその上限に維持されている。これは、階段を上る間は膝関節に定常的に大きな外的トルクが付与されて歩行者の歩行が補助されていることを示している。

【0066】さらに、階段を下りるとき、第1係数 $c_1$ は0から0.1程度に上昇し、やや減少した上で0.15程度まで徐々に増大している(図中上向き矢印参照)。これは、階段を下りる間は階段を上るときよりは小さいながらも、適切な大きさの外的トルクが膝関節に付与されて歩行者の歩行が補助されていることを示している。

【0067】続いて、歩行者に付与される外的仕事量 $w_2$ が歩行条件の変動に伴いどのように変動するかについてシミュレーションを行った結果について図7及び図8を用いて説明する。図7及び図8では縦軸に歩行に要する合計仕事量、横軸に歩行者の歩行周期が表されている。また、仕事量は平地歩行時における合計仕事量(点線)で規格化されている。さらに図7では平地歩行時を基準とした合計仕事量の変動量が斜線で表され、図8では外的仕事量の変動量が斜線で表されている。

【0068】図7に示すように合計仕事量が第1～第4周期で1.0、第5周期に1.0から1.5に増大し、第6～第11周期で1.5、第12周期に1.5から2.0に増大したとする。また、第13～第17周期で2.0、第18周期に2.0から1.5に減少し、第19～第21周期で1.5、第22周期に1.5から1.0に減少し、第23周期以降は1.0と変動したとする。合計仕事量の増大は例えば平地歩行から坂道や階段を登る歩行への移行に対応し、合計仕事量の減少は例えば坂道や階段を降る歩行から平地歩行への移行に対応している。

【0069】第2係数 $c_2$ 、ゲイン係数 $G$ の組み合わせを(1.0、0.6)、(0.5、0.6)、(1.0、1.0)、(0.5、1.0)とした場合の内的仕事量及び外的仕事量の変動のシミュレーション結果をそれぞれ図8(a)、図8(b)、図8(c)、図8(d)に示す。

【0070】図8(a)及び図8(c)を見ると、第2係数 $c_2$ が1.0の場合、平地歩行状態を基準とした合

計仕事量の変動量(図7斜線部)の全部が補償されるように外的トルク、ひいては外的仕事量(図8(a)、図8(c)斜線部)が付与されていることがわかる。また、図8(b)及び図8(d)を見ると、第2係数 $c_2$ が0.5の場合、変動量(図7斜線部)の半分が補償されるように外的トルク、ひいては外的仕事量(図8(b)、図8(d)斜線部)が付与されていることがわかる。

【0071】また、図8(a)及び図8(c)、又は図8(b)及び図8(d)を比較すると、ゲイン係数 $G$ が大きい方が関節回りに付与される外的トルク、ひいては外的仕事量(図8(a)～8(d)斜線部)が変動量(図7斜線部)に対応して迅速に変動するのがわかる。また、ゲイン係数 $G$ が小さい方が関節回りに付与される外的仕事量(図8(a)～8(d)斜線部)が変動量(図7斜線部)に対応して緩やかに変動するのがわかる。即ち、図2を用いて既に説明した通り、外的仕事量(白塗部分) $w_2$ が階段上り時に徐々に増加していくが、ゲイン係数 $G$ が大きいほど①から②、②から③、③から④へと移行する速度が大きくなり、ゲイン係数 $G$ が小さいほど当該速度は小さくなる。

【0072】本歩行補助装置によれば、歩行者の脚部の関節回りの内的仕事量 $w_1$ が基準仕事量 $w$ に一致するように、脚部に対して関節回りの外的トルク $T_2$ が付与される。従って、歩行者が平地歩行から階段歩行へ移行する等、歩行条件が変動し、歩行に要する脚部の仕事量が基準仕事量 $w$ を超過した場合、当該超過分が補助される形で脚部等に外的トルク $T_2$ が付与される。そして、歩行条件の変動に関わらず、脚部における基準仕事量 $w$ に対応する内的トルク $T_1$ の発揮による歩行を可能とすることができる。

【0073】また、脚部に付与される外的トルク $T_2$ は、第1係数 $c_1$ 、さらには脚部に付与される外的仕事量 $w_2$ に基づいて決定され(上式(6)～(8)参照)、当該決定の基準となる基準仕事量 $w$ は脚部の内的仕事量 $w_1$ に基づいて決定される(上式(5)参照)。従って、脚部の内的仕事量 $w_1$ と外的仕事量 $w_2$ とのバランスに応じた適切な外的トルク $T_2$ を脚部に付与することができる。

【0074】さらに、ゲイン係数 $G$ を大きくすることで第1係数 $c_1$ のその目標値 $c_{1c}$ への収束速度を大きくすることができる。そして、歩行条件の変動により歩行に要する仕事量が基準仕事量 $w$ を超過した場合、当該超過分を迅速に解消するように外的トルク $T_2$ を脚部に付与することができる(図8(c)、8(d)参照)。一方、ゲイン係数 $G$ を小さくすることで第1係数 $c_1$ のその目標値 $c_{1c}$ への収束速度を小さくすることができる。そして、歩行条件の変動により歩行に要する仕事量が基準仕事量 $w$ を超過した場合、当該超過分を時間的にゆるやかに解消するように外的トルク $T_2$ を脚部に付与す

ることができる(図8(a)、8(b)参照)。

【0075】また、基準仕事量 $w_0$ に対する歩行に際して必要な合計仕事量の変動分のうち、どれだけを外的トルク $T_2$ により補償するかが第2係数 $c_2$ の大小によって決定される。即ち、第2係数 $c_2$ が大きく設定されることで、当該変動分のうち外的トルク $T_2$ により補償される分の割合を大きくすることができる(図8(a)、8(c)参照)。一方、第2係数 $c_2$ が小さく設定されることで、当該変動分のうち外的トルク $T_2$ により補償される分の割合を小さくすることができる(図8(b)、8(d)参照)。

【0076】なお、本実施形態では歩行者の脚部に対して股関節及び膝関節回りの外的トルクが付与されたが、他の実施形態として脚部に対して足関節回りの外的トルクが付与されてもよく、腕部の手根関節、肘関節又は肩関節回りの外的トルクが付与されてもよい。即ち、本実施形態では外的トルクが付与される対象としての「連結体」が股関節を介して連結された歩行者の腰部と大腿部、及び膝関節を介して連結された大腿部と脛部であったが、他の実施形態として「連結体」が足関節を介して連結された脛部と足平等であってもよい。

【0077】また、本実施形態では人間の動作を補助すべくその脚部に関節回りの外的トルクが付与されたが、他の実施形態として猫や犬等の動物の動作を補助すべくその脚部に関節回りの外的トルクが付与されてもよい。これは、本発明のトルク付与システムが人間の医療分野等のみならず、獣医学の分野にも適用可能であることを意味する。

【0078】さらに、本実施形態では左右両脚部に外的トルクが付与されたが、他の実施形態として左右いずれか一方の脚部にのみ外的トルクが付与されてもよい。

【0079】本実施形態では歩行者の歩行を補助すべく外的トルク $T_2$ が付与されたが、他の実施形態として歩行者が動かそうとする方向とは逆方向に外的トルク $T_2$ が付与されてもよい。当該他の実施形態によれば、第1係数決定手段9により第1係数 $c_1$ が負に決定されることで外的トルク $T_2$ がと内的トルク $T_1$ との符号が異なる(上式(8)参照)。そして、歩行者がかかる外的トルク $T_2$ に反して体を動かそうとすることで歩行者の筋力強化を図ることができる。即ち、本発明のトルク付与システムがスポーツ選手等の筋力増強を図るトレーニング装置として利用される。

【0080】本実施形態では制御ユニット3が歩行補助装置のバックパック5に格納されたが、他の実施形態として制御ユニット3と、歩行補助装置とが分離され、両者間の信号送受信することで制御ユニット3における内的トルク $T_1$ の測定や外的トルク $T_2$ の決定、第1、第2アクチュエータ1、2の作動指示等が実行されてもよい。

【0081】また、第1係数決定手段9は、第1測定手

段6により測定される内的仕事量 $w_1$ と、第2測定手段7により測定される外的仕事量 $w_2$ との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段8により決定される基準仕事量 $w_0$ 。以下のとき、第1係数 $c_1$ の下限を0と決定してもよい。これにより、脚部の合計仕事量 $w_1 + w_2$ が減少して基準仕事量 $w_0$ を下回った場合、第1係数 $c_1$ が負に決定され、脚部に負の外的トルク $T_2$ が付与される事態を防止することができる。

【0082】さらに、第1係数決定手段9は、脚部の合計仕事量 $w_1 + w_2$ が、基準仕事量決定手段8により決定される基準仕事量 $w_0$ 以上の所定量(0、1.5 $w_0$ 、2.5 $w_0$ 、…等)以上のとき、第1係数 $c_1$ の上限を決定してもよい。これにより、脚部の合計仕事量 $w_1 + w_2$ が増大して基準仕事量 $w_0$ を大きく上回った場合、第1係数 $c_1$ が過大に決定され、脚部に過大な外的トルク $T_2$ が付与される事態を防止することができる。

【0083】本実施形態では内的トルク $T_1$ 及び角速度 $\omega_1$ の積、外的トルク $T_2$ 及び角速度 $\omega_2$ の積が歩行者の歩行周期にわたり時間積分されることで内的仕事量 $w_1$ 、外的仕事量 $w_2$ が測定されたが(上式(3)、

(4)、図3s3～s5参照)、他の実施形態として当該積分時間は単位時間であってもよく、歩行者が単位距離だけ移動するのに要した時間等、異なる時間であってもよい。

【0084】本実施形態では脚部への床反力に基づき逆動力学モデルに従って膝関節、股関節の内的トルク $T_1$ 及び内的仕事量 $w_1$ が測定されたが(図5、式(2a)～(2c)参照)、他の実施形態として三次元動作解析装置によって各関節の内的トルク $T_1$ 及び内的仕事量 $w_1$ が測定されてもよい。即ち、脚部の動作がxyz方向から撮影され、各関節がどれだけの角速度 $\omega_1$ でどれだけの角度折れ曲がっているかが画像解析され、この解析結果に基づいて各関節の内的トルク $T_1$ や内的仕事量 $w_1$ が測定されてもよい。

【0085】本実施形態では角度センサa等の測定値に基づいて歩行者の脚部への床反力が測定されたが(図4、式(1a)～(1d)参照)、他の実施形態として歩行者が履くシューズに床反力センサが設けられ、これにより直接床反力が測定されてもよい。

【0086】本実施形態では関節回りの内的トルク $T_1$ 及び(内的)角速度 $\omega$ が測定され、両者の積の絶対値が時間積分されることで当該関節回りの内的仕事量 $w_1$ が測定されたが(式(3)参照)、他の実施形態として歩行者の関節に関連する筋肉収縮力及び筋肉収縮速度が測定され、両者の積に基づいて当該関節回りの内的仕事量 $w_1$ が測定されてもよく、歩行者の上部や鉛直方向に対する左右の大腿部や脛部等の角度、又は足平の移動距離が測定され、記憶手段11により当該測定値と内的仕事量 $w_1$ との対応データテーブルが記憶保持され、当該測

定値及びデータテーブルとが用いられることで内的仕事量 $w_1$ が測定されてもよい。

【0087】本実施形態では関節回りの外的トルク $T_2$ 及び(外的)角速度 $\omega$ が測定され、両者の積の絶対値が時間積分されることで当該関節回りの外的仕事量 $w_2$ が測定されたが(式(4)参照)、他の実施形態として各アクチュエータ1、2の消費電力が測定され、当該消費電力に基づいて外的仕事量 $w_2$ が測定されてもよく、アクチュエータ1、2が油圧式の場合、油圧の変動量が測定され、当該油圧変動量の時間積分に基づいて外的仕事量 $w_2$ が測定されてもよい。

【0088】ここで、さらに本発明の他の実施形態について説明する。歩行者が階段を上る場合、歩行者の膝関節回りの外的トルク $T_2$ 及び角速度 $\omega$ の積について考える。また、膝が屈曲する方向を「負」、伸張する方向を「正」とする。

【0089】歩行者が踏み出した右足平が上段に接地したとき右膝は屈曲している。次に、歩行者がさらに階段を上るべく下段から左足平を離反させると、歩行者の体を持ち上げるべく右膝を屈曲状態から伸張させるように「正」の内的トルク $T_1$ が生じる。また、右膝部に取り付けられたアクチュエータ2(図1参照)により右膝の\*

$$\begin{aligned} w_{1(i)} &= w_{1(i)}^+ + w_{1(i)}^- \\ &= \int dt \cdot f^+ (T_{1(i)} \times \omega_{(i)}) \\ &\quad + \int dt \cdot f^- (T_{1(i)} \times \omega_{(i)}) \cdots (9) \end{aligned}$$

【0094】

$$\begin{aligned} w_{2(i)} &= w_{2(i)}^+ + w_{2(i)}^- \\ &= \int dt \cdot f^+ (T_{2(i)} \times \omega_{(i)}) \\ &\quad + \int dt \cdot f^- (T_{2(i)} \times \omega_{(i)}) \cdots (10) \end{aligned}$$

【0095】

$$\begin{aligned} f^+(x) &\equiv x \text{ (if } x \geq 0), \\ 0 \text{ (if } x < 0) \cdots (11) \end{aligned}$$

【0096】

$$\begin{aligned} f^-(x) &\equiv 0 \text{ (if } x \geq 0), \\ -x \text{ (if } x < 0) \cdots (12) \end{aligned}$$

【0097】この上で、第1係数決定手段9により $w_{1(i)}^+$ 及び $w_{2(i)}^+$ に基づき、さらに $w_{1(i)}^-$ 及び $w_{2(i)}^-$ に基づき、相違する第1係数 $c_{1(i+1)}^+$ 、 $c_{1(i+1)}^-$ が決定される(式(7)参照)。

【0098】そして、 $i+1$ 周期で内的トルク $T_{1(i+1)}$ 及び角速度 $\omega_{(i+1)}$ の積が「正」のとき、 $i$ 周期で当該積が「正」の状況に応じて決定された第1係数 $c_{1(i+1)}^+$ に基づいて外的トルク決定手段10によって外的トルク $T_{2(i+1)}$ が決定される(式(8)参照)。一方、当該積が「負」のとき、 $i$ 周期で当該積が「負」の状況に応じて決定された第1係数 $c_{1(i+1)}^-$ に基づいて外的トルク $T_{2(i+1)}$ が決定される(同)。

【0099】従って、過去の歩行条件と一致する歩行条件に接したとき、当該過去の歩行条件に応じて予め決定された第1係数 $c_1$ に基づき、現在の外的トルク $T_2$ を

\*伸張を補助すべく「正」の外的トルク $T_2$ が付与される。しかるに、歩行者が下段から左足平を離反させた直後は、右膝は歩行者の体重によりやや屈曲し、角速度 $\omega$ は「負」となる。従って、内的トルク $T_1$ と角速度 $\omega$ との積、及び外的トルク $T_2$ と角速度 $\omega$ との積はともに「負」となる。

【0090】続いて、歩行者が左足平を離反してからある程度の時間が経過すると、歩行者の右膝は「正」の内的トルク $T_1$ 及び外的トルク $T_2$ により屈曲状態から徐々に伸張し、角速度 $\omega$ は「正」となる。従って、内的トルク $T_1$ と角速度 $\omega$ との積、及び外的トルク $T_2$ と角速度 $\omega$ との積はともに「正」となる。

【0091】このように歩行条件によっては1の歩行周期の中にもトルクと角速度との積が「正」になったり「負」になったりする場合が考えられる。

【0092】かかる事情に対応し、当該他の実施形態では、第1測定手段6、第2測定手段7により、内的、外的仕事量 $w_{1(i)}$ 、 $w_{2(i)}$ が次式(9)～(12)に従い当該積が正の場合の積分部分 $w_{1(i)}^+$ 、 $w_{2(i)}^+$ と、負の場合の積分部分 $w_{1(i)}^-$ 、 $w_{2(i)}^-$ とに分割して測定される。

【0093】

30 決定・付与することができる。

【0100】また、前記他の実施形態では内的トルク $T_1$ 及び角速度 $\omega$ の積の正負に応じてそれぞれ第1係数 $c_1$ 、さらには外的トルク $T_2$ が決定されたが、さらに他の実施形態として当該積が3つ以上の複数区分のそれぞれに応じて第1係数 $c_1$ が決定されてもよい。例えば、当該積が任意単位をもって-2未満、-2以上+1未満、+1以上のそれぞれの場合に応じた第1係数 $c_1$ が決定されてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】歩行補助装置の構成説明図

【図2】歩行補助装置による歩行補助の概要説明図

【図3】歩行補助装置の機能を説明するフローチャート

【図4】歩行者の足平の床反力測定の概念説明図

【図5】歩行者の関節周りのトルク測定の概念説明図

【図6】歩行補助装置による歩行補助の実験結果の説明図

【図7】歩行補助装置による歩行補助のシミュレーション結果の説明図(その1)

【図8】歩行補助装置による歩行補助のシミュレーション結果の説明図(その2)

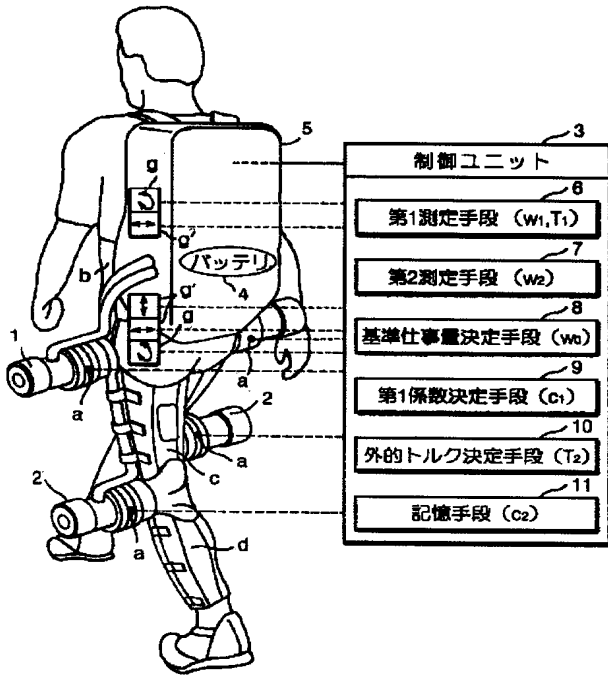
## 【符号の説明】

1…第1アクチュエータ、2…第2アクチュエータ、3…制御ユニット、4…バッテリー、6…第1測定手段、7…第2測定手段、8…基準仕事量決定手段、9…第1係数

\* 数決定手段、10…外的トルク決定手段、11…記憶手段、a…角度センサ、g…ジャイロセンサ、g'…Gセンサ

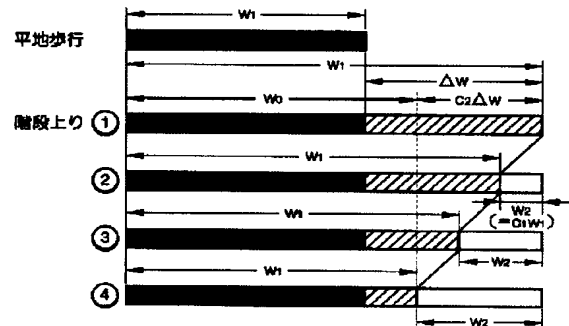
【図1】

FIG. 1



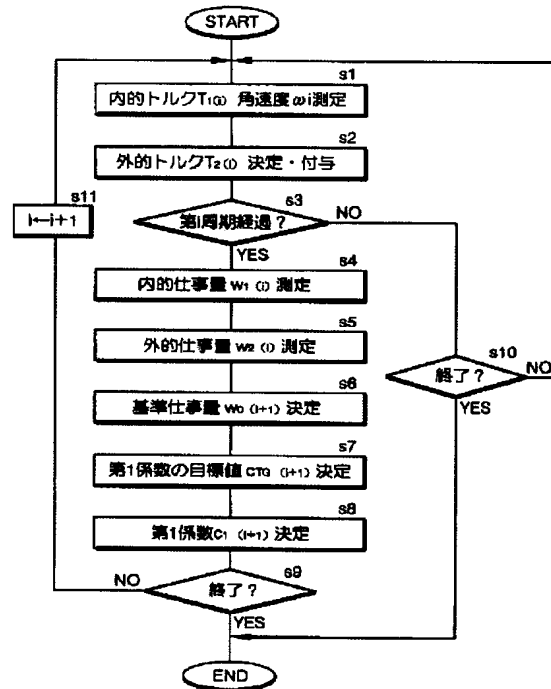
【図2】

FIG. 2



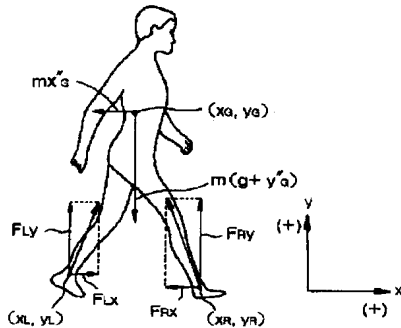
【図3】

FIG. 3

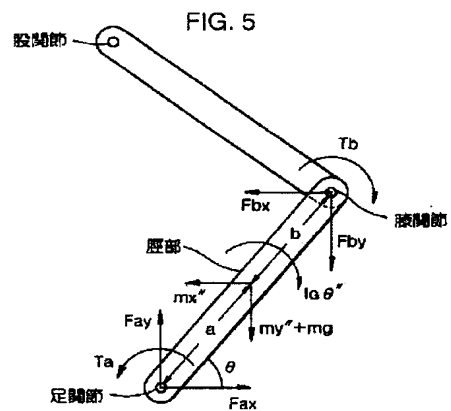


【図4】

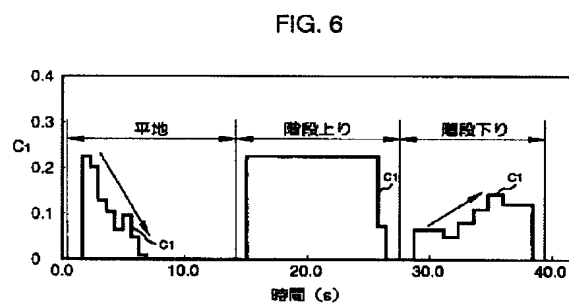
FIG. 4



【図5】

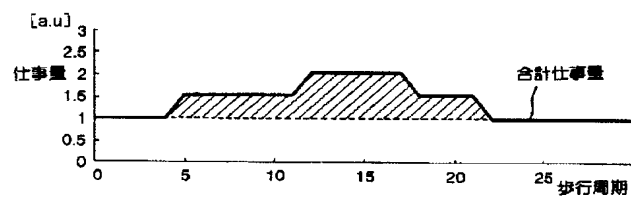


【図6】



【図7】

FIG. 7



【図8】

